

Životni vijek industrijskog sustava upravljanja

Bardak, Patrik

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:316444>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-29**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Stručni studij

**ŽIVOTNI VIJEK INDUSTRIJSKOG SUSTAVA
UPRAVLJANJA**

Završni rad

Patrik Bardak

Osijek, 2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1S: Obrazac za ocjenu završnog rada na stručnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na stručnom prijediplomskom studiju**

| | |
|--|---|
| Ime i prezime pristupnika: | Patrik Bardak |
| Studij, smjer: | Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer Automatika |
| Mat. br. pristupnika, god. | A 4605, 27.07.2020. |
| JMBAG: | 0165076964 |
| Mentor: | mr. sc. Dražen Dorić |
| Sumentor: | |
| Sumentor iz tvrtke: | |
| Predsjednik Povjerenstva: | dr. sc. Krešimir Miklošević |
| Član Povjerenstva 1: | mr. sc. Dražen Dorić |
| Član Povjerenstva 2: | dr. sc. Željko Špoljarić |
| Naslov završnog rada: | Životni vijek industrijskog sustava upravljanja |
| Znanstvena grana završnog rada: | Automatika (zn. polje temeljne tehničke znanosti) |
| Zadatak završnog rada: | Industrijski, tehnološki i energetske sustavi upravljanja (engl. Industrial control system ICS) se obično uspostavljaju s očekivanjem dugog vijeka trajanja. Tijekom životnog vijeka koji se sastoji od četiri ključne faze - dizajn, izgradnja, rad i stavljanje izvan pogona, nužne se nadogradnje, modernizacije, modifikacije, integracija s poslovnim sustavom što znači da postoje brojni projekti vezani za ICS. U okviru završnog rada potrebno je sačinuti pregled faza životnog vijeka ICS-a, aktivnosti i zahvata koje se mogu očekivati tijekom njega. Te dati ilustrativne primjere. |
| Datum ocjene pismenog dijela završnog rada od strane mentora: | 22.09.2024. |
| Ocjena pismenog dijela završnog rada od strane mentora: | Vrlo dobar (4) |
| Datum obrane završnog rada: | 08.10.2024. |
| Ocjena usmenog dijela završnog rada (obrane): | Izvrstan (5) |
| Ukupna ocjena završnog rada: | Izvrstan (5) |
| Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio stručni prijediplomski studij: | 11.10.2024. |



FERIT

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK**

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Osijek, 11.10.2024.

| | |
|-------------------------------------|--|
| Ime i prezime Pristupnika: | Patrik Bardak |
| Studij: | Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer Automatika |
| Mat. br. Pristupnika, godina upisa: | A 4605, 27.07.2020. |
| Turnitin podudaranje [%]: | 6 |

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Životni vijek industrijskog sustava upravljanja**

izrađen pod vodstvom mentora mr. sc. Dražen Dorić

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

Sadržaj

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. Zadatak | 1 |
| 2. UVOD U ŽIVOTNI VIJEK INDUSTRIJSKOG SUSTAVA UPRAVLJANJA | 2 |
| 3. PRVA FAZA: PROJEKTIRANJE | 3 |
| 3.1. Analiza troškova | 3 |
| 3.2. Nabava | 4 |
| 3.3. Planiranje projekta | 4 |
| 3.3.1. Sigurnost | 6 |
| 3.4. Projektiranje | 7 |
| 4. DRUGA FAZA: IZGRADNJA | 9 |
| 4.1. Razvoj | 9 |
| 4.2. Izgradnja | 9 |
| 4.3. Ispitivanje | 10 |
| 4.3.1. ispitivanje ugrađenih sustava | 10 |
| 4.3.2. Tvorničko ispitivanje | 11 |
| 4.3.3. Ispitivanje na licu mjesta | 11 |
| 4.4. Obuka osoblja | 12 |
| 4.5. Puštanje sustava u pogon | 12 |
| 5. TREĆA FAZA: SUSTAV U POGONU | 13 |
| 5.1. Održavanje | 13 |
| 5.2. Nadogradnja i migracija | 14 |
| 5.2.1. Four-point evolution strategija | 14 |
| 6. ČETVRTA FAZA: STAVLJANJE SUSTAVA VAN POGONA | 16 |
| 6.1. Zamjena i dekomisija | 16 |
| 7. ISA112 STANDARD | 17 |
| ZAKLJUČAK | 19 |
| LITERATURA | 20 |

1. UVOD

Životni vijek industrijskog sustava upravljanja sastoji se od četiri faze: projektiranje, izgradnja, sustav u pogonu i stavljanje sustava izvan pogona. Svaka od ovih faza obuhvaća set zahvata i aktivnosti koji su dio životnog ciklusa. Nakon što se sustav izgradi, od njega se očekuje da ima podosta dug životni vijek, ali to očekivanje ovisi o načinu kako je projektiran i izgrađen, održava li se redovito i u kolikoj mjeri i vodi li se računa o dostupnosti njegovih rezervnih dijelova.

U završnom radu, teorijskom analizom, detaljno je obrađena svaka faza životnog vijeka; objašnjeni su zahvati i aktivnosti koje se mogu očekivati, dani su ilustrativni primjeri te savjeti iz stručne prakse koji mogu produljiti životni vijek industrijskih sustava upravljanja i smanjiti mu troškove održavanja, bez utjecanja na kvalitetu takvog održavanja.

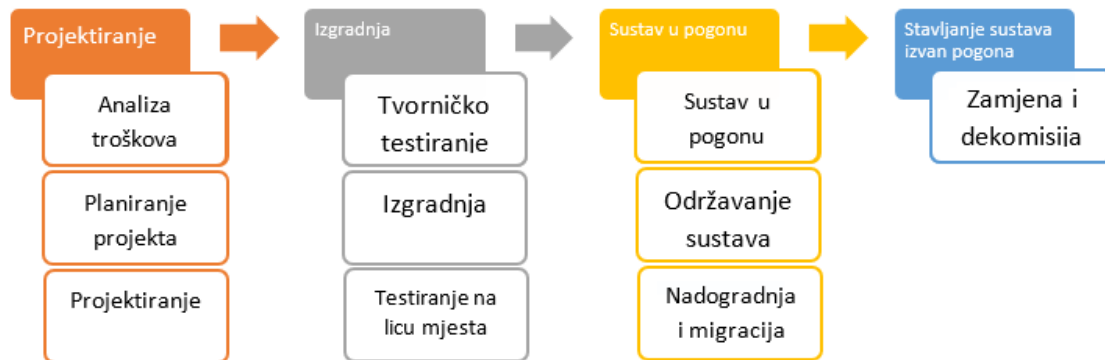
U drugom poglavlju je sažeto objašnjen životni vijek industrijskog sustava upravljanja te po fazama su grafički prikazane i objašnjene aktivnosti i zahvati, koji su dio svake pojedinačne faze životnog vijeka. U trećem poglavlju opisana je prva faza životnog ciklusa, gdje su analizirani troškovi sustava, navedene ključne stavke za planiranje projekta te savjeti koji se trebaju uzeti u obzir pri projektiranju. U četvrtom poglavlju obrađena je faza izgradnje, s naglaskom na tvorničko testiranje i testiranje na licu mjesta te na ključne aspekte koje treba imati na umu tijekom izgradnje. Naglašena je važnost edukacije osoblja. Također, objašnjeno je na što treba paziti prilikom prvog pokretanja sustava. U petom poglavlju obrađena je treća faza životnog ciklusa – sustav u pogonu. Dani su savjeti za ekonomično preventivno održavanje, te je objašnjeno što je korektivno održavanje. U šestom poglavlju je definirana dotrajalost sustava te je objašnjena dekomisija sustava. U sedmom poglavlju dan je uvid u još neobjavljeni standard ISA112, uključujući koji će dijelovi činiti taj standard i tko sudjeluje u njegovom definiranju.

1.1. Zadatak

U okviru završnog rada potrebno je sačiniti pregled faza životnog vijeka ICS-a, aktivnosti i zahvata koje se mogu očekivati tijekom njega, te dati ilustrativne primjere.

2. UVOD U ŽIVOTNI VIJEK INDUSTRIJSKOG SUSTAVA UPRAVLJANJA

Životni ciklus industrijskog sustava upravljanja sastoji se od 4 faze: projektiranje, izgradnja, sustav u pogonu i sustav van pogona (slika 2.1.). U svakoj fazi se provode zahvati i aktivnosti koji su dijelovi životnog ciklusa.



Slika 2.1. Grafički prikaz životnog vijeka industrijskog sustava upravljanja

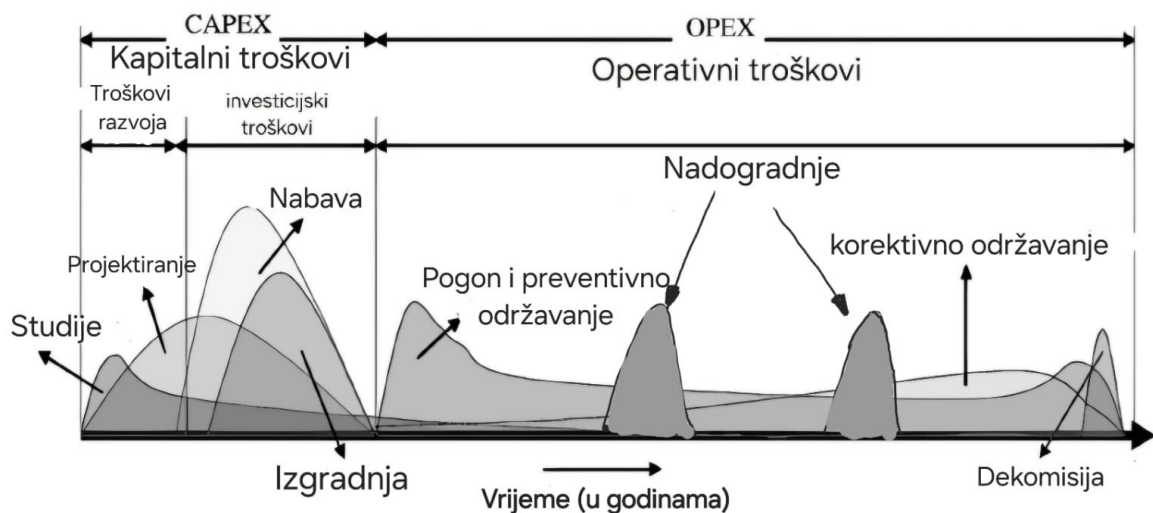
Životni ciklus industrijskog sustava upravljanja kreće s identifikacijom, odnosno, potrebom za novim sustavom (ili njegovom nadogradnjom). Neke potrebe dolaze od potrebe za većom sigurnošću, neke kako bi se zadovoljio povratak investicije a neke kako bi se zadovoljile nove zakonske obveze. Nakon što se potreba identificirala, analiziraju se troškovi novog industrijskog sustava te se planira projekt. Nakon što se projekt isplanira, sustav se kreće projektirati. Nakon što se sustav izgradio, prije nego što se pusti u pogon, mora se tvornički testirati i onda na kraju testirati na licu mjesta (kod klijenta). Dok je sustav u pogonu, on se održava preventivno i korektivno te se po potrebi nadograđuje. Nakon što sustav dođe u stanje kada se više ne može korektivno održavati te kada više nema rezervnih dijelova na tržištu, tada je životnom vijeku sustava došao kraj te se on odbacuje.

3. PRVA FAZA: PROJEKTIRANJE

Projektiranje je prva faza životnog ciklusa. U ovoj fazi se analiziraju troškovi. Projekt se planira terenskom procjenom te se razvija opseg posla, željeni rezultati i opće aktivnosti. Sigurnost se razmatra kao i ostali funkcionalni zahtjevi. U ovom poglavlju su također dani savjeti kojima bi se trebalo vodit prilikom projektiranja.

3.1. Analiza troškova

Identifikacija je preliminarna. Sve počinje od same potrebe krajnjeg korisnika za novim sustavom (postrojenjem) koji bi mu ostvarivao dobit. Nakon što se potreba identificira, krajnji korisnik mora provesti studiju isplativosti, odnosno, provjeriti koliko je investicija profitabilna [1, str.10].



Slika 3.1. Analiza troškova životnog ciklusa [2]

Slikom 3.1 dan je prikaz analize troškova životnog ciklusa koja izračunava trošak imovine za cijeli njezin životni vijek. Analiza se sastoji od dvije grupe troškova; kapitalni i operativni troškovi. Kapitalne troškove čine troškovi razvoja (kao što su studije i projektiranje) i investicijski troškovi (kao što su troškovi nabave i izgradnje). Operativni troškovi su troškovi održavanja sustava kao što su troškovi korektivnog održavanja, operativnog održavanja, troškovi nadogradnje i imigracije te troškovi dekomisije.

Ovakva analiza je vrlo važna prilikom donošenja odluke o zamjeni ili potpunoj nabavi. Tri važna benefita analize troškova životnog ciklusa su:

1. svi troškovi povezani s imovinom postaju jasni (R&D i održavanje)
2. omogućuje analizu međusobnih odnosa poslovnih funkcija
3. ističe razlike u troškovima u ranoj fazi pa se time omogućuje razvitak točnijeg predviđanja prihoda.

3.2. Nabava

Organizacije često smatraju da njihovi dobavljači ih ne opskrbljuju s dovoljno sigurnim industrijskim sustavima upravljanja, dok dobavljači često tvrde da sigurnosni zahtjevi nikad nisu bili ni navedeni u traženim tehničkim specifikacijama prilikom nabave.

Sigurnosni zahtjevi trebali bi biti jasno navedeni u tehničkim specifikacijama. Osim toga, organizacije bi se trebale uvjeriti da su pristupi ka sigurnosti industrijskih sustava upravljanja usklađeni s dobavljačima.

Ugovornim aranžmanom bi se trebalo osigurati da su sigurnosni zahtjevi organizacije (naručitelja) dobavljaču jasni te ti ugovorni aranžmani bi trebali biti dio faze životnog ciklusa industrijskih sustava upravljanja (slika 2.1.). [3]

3.3. Planiranje projekta

Projekt je podijeljen u više dijelova (faza). Važnost i vijek trajanja svake faze ovisi o samom projektu. Rashodi projekta također variraju u ovisnosti o tome kako tijek projekta teče. U većini slučajeva projekt se sastoji od:

- Definiranje grupa i njihovih aktivnosti
- Definiranje sekvence aktivnosti i njihov vijek trajanja, kao i izrada rasporeda
- Raspoređivanje ljudskih resursa dodjeljujući im uloge i odgovornosti te izrada organizacijskog grafa
- Estimacija troškova projekta i dobivanje budžeta
- Razvijanje timova i pružanje obuke tijekom projekta
- Započinjanje s projektom i osiguravanje ispravne koordinacije kroz projekt

- Dovořavanje projekta zajedno s administracijskim aktivnostima.

Kako bi se projekt uspješno kontrolirao, voditelj projekta mora razumjeti cijeli proces, kao i projekt. On cijeli projekt dijeli na korake ili prekretnice. Ovakav pristup stvara logičku sekvencu u projektu. [4, str.194]

Planiranje projekta započinje terenskom procjenom. Projektanti se upoznavaju s lokacijom i okolinom, čime dobivaju informacije koje nisu lako dostupne na drugi način. Razvija se opseg posla koji opisuje početnu situaciju, željeni rezultat i opće aktivnosti koje su potrebne za provođenje promjene. Izrađuju se dokumenti koji su osnovni za poslove inženjeringa i dizajna:

- Bilanca topline i materijala
- Dijagram procesa
- Dijagram cijevi i instrumentacije
- Dijagram komunikacijske mreže
- Preliminarni popis materijala
- Popis instrumenata i I/O točaka.

Svi ovi dokumenti se mogu promijeniti tijekom faze projektiranja. Zato je u planiranje i raspored potrebno ugraditi dovoljno fleksibilnosti, kako bi se omogućile prilagodbe promjenama.

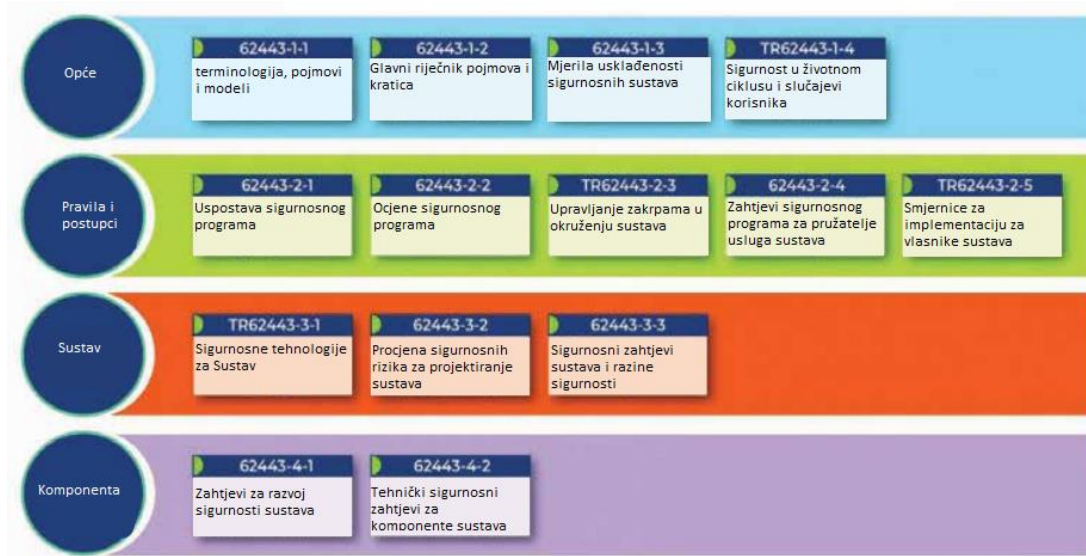
Kvalitetna dokumentacija je ključna za održavanje sustava. Loša dokumentacija može dovesti do manjka informacija, što rezultira zbunjenošću. Prodavač neće znati ključne stvari o svom proizvodu kojeg prodaje, izvođač montaže neće znati kako ugraditi opremu prema zahtjevima klijenta, a osoba zadužena za održavanje neće znati kako ispravno održavati sustav. Svaki inženjer za automatiku zna da konačna dokumentacija nije nikad konačna. Vrlo je bitno da se dokumentacija nakon njene izrade evaluira i recenzira. Dobra dokumentacija će također pomoći projektantu ukoliko je njegov prethodnik učinio neku grešku u projektiranju, odnosno, ako se naišlo na problem kojeg se treba otkloniti. [4, str.159]

3.3.1. Sigurnost

Iako se implementacija sigurnosti u industrijski sustav upravljanja čini očiglednom, često se zanemaruje ili se uopće ne provodi. Sigurnosni zahtjevi trebaju se razmatrati na isti način kao i ostali funkcionalni zahtjevi te biti jasno izraženi i uključeni u svaku funkcionalnu dizajnersku specifikaciju.

Sigurnosni zahtjevi bi trebali biti temeljeni na poslovnom riziku, jer nisko kritični sustav može zahtijevati manju zaštitu od onog s visoko kritičnim sustavom. Ukoliko se razina poslovnog rizika ne procijeni dobro, postoji opasnost da se sustav pretjerano zaštiti, što naravno može biti gubitak resursa kojeg se moglo uložiti u nešto korisnije ili ako se sustav premalo zaštiti, što u konačnici dovodi do dodatnih troškova popravaka i održavanja u budućnosti. [3]

ISA/IEC 62443 standardi su standardi koji definiraju sigurnosne zahtjeve koji se koriste pri projektiranju, razvoju i podršci industrijskih sustava upravljanja, kao i set sigurnosnih mjera koji bi se koristili tijekom cijelog životnog vijeka industrijskog sustava upravljanja. Svi standardi i tehnička izvješća u dokumentu su raspoređena u četiri skupine (slika 2.2). [5]



Slika 2.2. Skupine ISA 62443 standarda i tehničkih izvješća [5]

3.4. Projektiranje

Prilikom samog projektiranja, neophodno je slijediti standarde koji će osigurati dobru funkcionalnost i sigurnost uporabe sustava. Neki od najkorisnijih standarda u SAD-u su standardi Nacionalne udruge za zaštitu od požara, Društva za instrumente, sustave i automatizaciju te nacionalni električni kodeks.

Baza podataka je ključna za proces projektiranja. Ona povezuje sve komponente koje su u dokumentaciji i pruža informacije koje su teške prikazati crtežima. Baza podataka se razvija zajedno s projektiranim sustavom. Za razliku od proračunske tablice koja svaki podatak tretira neovisno, baza podataka objedinjuje cijeli set podataka jedinstvenim zapisom. Efikasno upravljanje bazom podataka osigurava da se podaci unose samo jednom, a da se upotrebljavaju na više načina. Ipak, proračunske tablice su jednostavnije za uporabu, jer su podaci odmah dostupni (pod uvjetom da je tablica dobro dizajnirana za predviđenu svrhu), ali se ne preporučuje kod većih i kompleksnijih projekata.

Preporučuje se numerirati, odnosno, dodijeliti oznaku svakoj žici u instalaciji. To daje puno veću prednost umjesto projektiranja prema bojama, iz razloga što nema jamstva da će prilikom izgradnje biti isti tip kabla koji je naveden u projektnom planu, što bi uzrokovalo ozbiljne probleme. Broj žice se mijenja kada žica prolazi kroz uređaj (komponentu) koji može promijeniti karakteristike signala (npr.: osigurači, otpornici releji). U koliko žica izlazi iz nekog električnog čvora (koji se na shemi označavaju crnom točkom), tada ona zadržava svoj broj jer se karakteristike signala ne mijenjaju.

Iako digitalni I/O moduli već tvornički dolaze s ugrađenim (internim) osiguračima i dalje je preporučljivo dodati vanjski osigurač na izlazu svake I/O točke kojem je dopuštena jakost struje nešto niža od dopuštene jakosti struje internog osigurača. Taj vanjski osigurač upravo štiti pregaranje internog osigurača. Ukoliko interni osigurač pregori eliminirajući štetu na I/O modulu, modul se najčešće mora poslati kod ovlaštenog servisera na popravak, što je u konačnici negativan utjecaj za troškove i vrijeme. Analogni I/O moduli tvornički dolaze s limitatorom struje te se izlazne točke I/O modula ne trebaju štiti osiguračima, kao što je slučaj kod digitalnih I/O modula (ukoliko projektant utvrdi postojanje strujnog limitatora s proizvođačem modula).

Prilikom projektiranja potrebno je voditi računa o šumovima koji mogu izobličiti analogni signal. Ukoliko je amplituda signala veća, magnetsko polje koje se stvara oko žice se može

inducirati u susjednu žicu, što može dovesti do pojave preslušavanja. Kako bi se izbjegla takva pojava, preporučuje se korištenje upletenih žica (engl. twisted pair) koji će poništiti šum. Za otklanjanje vanjskih šumova (čiji su izvori visokonaponski kablovi elektromotora itd.) preporučuje se oklopiti žice upletenim ili folijskim štitom koji ne smije biti uzemljen na više od jednog mjesta kako bi se izbjegla petlja uzemljenja.

Prostorija u kojoj su smješteni ormari industrijskih računala bi trebala biti vrlo jaka bez sjena. Trebala bi biti dobro ohlađena klimatizacijom, vodeći računa na kondenzaciju klimatskog zraka kako se ne bi skupljala vlaga u prostoriji. Podovi za ormare industrijskih računala bi trebali biti povišeni, što omogućuje lakše ožičenje i lakše strujanje hladnog zraka u ormare. Treba voditi računa da kablovi budu otporni na vatru i dim te da detektori dima budu postavljeni ispod poda.

[1, str.59-95]

4. DRUGA FAZA: IZGRADNJA

U drugoj fazi, nakon što se industrijski sustav upravljanja izgradi, sustav je potrebno ispitati. Najbitnija ispitivanja koja bi se trebala obaviti su tvorničko testiranje i testiranje na licu mjesta. Nakon što sustav prođe tvorničko testiranje, on se dostavlja na klijentovu lokaciju, gdje se testira na licu mjesta. Osoblje prolazi kroz obuku. Nakon što su svi testovi prošli i nakon što je osoblje educirano, sustav se pušta u pogon te je spreman za uporabu.

4.1. Razvoj

U većini slučajeva, razvoj se započinje kada je završen dizajn na raspolaganju. Razvoj će se odvijati na odvojenim sustavima kako oni ne bi utjecali na proizvodnju i kako bi se moglo nesmetano provesti mnogo testiranja tokom ove faze. Bitno je naglasiti da se ispitivanje i razvoj čvrsto povezuju tijekom projekta.

Razvoj se prati pomoću alata za upravljanje projektima, postavljaju se pitanja tijekom procesa i održavaju se sastanci kako bi svi bili dobro informirani. To omogućuje iteraciju i ažuriranje korisničkog sučelja, kao što su SCADA (engl. *Supervisory Control and Data Acquisition*) i HMI (engl. *Human-Machine Interface*) kroz projekt te provjeru funkcioniranja sustava prema očekivanjima s aspekta dizajna. [6]

4.2. Izgradnja

Tijekom ove faze, bitan je pristup trenutnim podacima dok se postavljaju i povezuju novi instrumenti poput inženjerskih informacija i tehničkih listova, uputa za montažu, izvješća o testiranju itd. Svi ti podaci se kontinuirano koriste tijekom rada s instrumentima, ažurirajući se za svaki pojedinačni serijski broj kako bi se osigurala sigurna instalacija uređaja.

Dvije su vrste podrške tijekom izgradnje: podrška na licu mjesta i podrška na daljinu. Potrebno je odrediti u kojim će periodima izgradnje podrška biti ključna i osigurati stalnu prisutnost projektantskog tima tijekom tih perioda. Prije nego što se počne sa samom izgradnjom, potrebno je održati uvodni sastanak s timom za izgradnju (pogotovo s nadglednikom izgradnje i nadređenim radnicima). Sastanak bi trebao obuhvatiti teme:

- Očekivani datum dolaska dijelova, njihovo stanje, rukovanje i posebni naputci o čemu treba voditi računa
- Pregled projekta i opseg rada
- Podrška s udaljenosti; brojevi telefona osoblja zaduženima za podršku s udaljenosti
- Podrška na licu mjesta: popis osoblja zaduženima za podršku na licu mjesta i brojevi telefona.

Tijekom perioda izgradnje, dio projektanata ostaju dostupni i nadgledaju projekt te se uključuju kada dođe do problema. Ukoliko se dogodi neželjen (ali predviđen) problem, predstavnici projektanata mogu otputovati do lokacije izgradnje kako bi pružili izravnu podršku u otklanjanju problema. Provedeno vrijeme projektanta treba biti unutar budžetnih ograničenja te bi bilo idealno imati jednog predstavnika projektanta na lokaciji izgradnje, koji će prema potrebi pozvati dodatnu podršku.

4.3. Ispitivanje

Kao što je u podnaslovu 3.1. iskazano, ispitivanje i razvoj je čvrsto povezano jedno s drugim. Faza ispitivanja uključuje premještanje resursa projekta u proizvodno okruženje, provjeru komunikacije između uređaja, sustava i sl.

U ovoj fazi se sustav stavlja u pogon i provjeravaju se ulazno/izlazne točke na hardveru, protok podataka na softveru i obavljaju se standardne provjere prije pokretanja (npr. provjera otvaranja i zatvaranja svih ventila u sustavu, uključivanje i ispravan smjer okretanja pumpi, ispravno očitavanje svih instrumenata, itd.). [6]

4.3.1. ispitivanje ugrađenih sustava

Posljednjih godina provedena su istraživanja koja ukazuju na široko rasprostranjene ranjivosti u ugrađenim sustavima poput upravljačkih jedinica niske razine, programibilnih logičkih kontrolera (engl. *Programible Logic Controller* – PLC), i udaljenih terminalnih jedinica (engl. *Remote terminal unit* – RTU). Iako su mnoge identifikacije ranjivosti manje ozbiljne, ipak postoje neke ozbiljnije te mogu imati posljedice na sigurnost ovisno o načinu

implementacije uređaja. Bitno je dobiti uvjerenje o takvim uređajima prije njihove implementacije u operacije. Dakako, postoji nekoliko tvrtki koje pružaju uslugu sigurnosnog testiranja PLC-ova i sličnih uređaja niže razine.

4.3.2. Tvorničko ispitivanje

Tvorničkim ispitivanjem (engl. *Factory Acceptance Test – FAT*), pruža se prilika da se cijeli sustav testira prije nego što se pusti u normalan režim rada (kada daljnje testiranje postaje teže) te bi se takvo testiranje trebalo provest na već izgrađen sustav. [3]

Uobičajeno je da se ovakva ispitivanja provode prije nego što sustav stigne kod klijenta i uključuje različita ispitivanja koja su obično na njegov zahtjev. Ispitivanja bi trebala biti odobrena od strane klijenta. Ukoliko se FAT ispitivanjem otkriju problemi, tim za programiranje ih može učinkovitije otkloniti u svom okruženju. [1, str.231-233]

Uključivanje sigurnosti u ove testove je važno iz razloga što kada sustav prođe testove prihvatanja, postaje vrlo teško napraviti promjene na sustavu kako bi se ispravili sigurnosni problemi. [3, str.231-232]

Ispitivanja koja bi se trebala izvršiti: [1, str.233]

- Simulirati analogni signal unošenjem lažnih podataka te provjeriti istinitost podataka koje prikazuje HMI. Uvjeriti se da se alarmi aktiviraju na vrijednostima na kojima bi se trebao aktivirati te da zaštitne blokade deaktiviraju uređaj.
- Demonstrirati kontrolu toka programa. Prilikom pokretanja sustava dopustiti klijentu da upravlja sustavom kao operater.
- Demonstrirati ispravan rad svakog krajnjeg uređaja. Simulirati rad uređaja gubitkom svih zaštitnih blokada što bliže logici I/O sučelja
- Demonstrirati ispravan rad sustava za alarmiranje, izvještavanje i povijest alarma.

4.3.3. Ispitivanje na licu mjesta

Ispitivanje na licu mjesta (engl. *Site Acceptance Test – SAT*) je dodatan test koji se provodi nakon FAT testa, s namjerom olakšavanja procesa puštanja u rad. Ukoliko je prethodno FAT ispitivanje bilo jako dobro organizirano, SAT se može ograničiti samo na krajnje uređaje.

Ispitivanja koja bi se trebala izvršiti:

- Analogni ulazi: Provjeriti točnost signala koji odašilju senzori. Ukoliko je ispitivanje dobro provedeno, provjera PLC alarma nije potrebna (ukoliko nisu prisutni eksterni alarmni sustavi, snimači ili brojila)
- Analogni izlazi: prisilnim unosom podataka u HMI otvarati i zatvarati ventile u određene položaje te provjeriti očekivanost reakcije. Uključiti motore s promjenjivom brzinom ukoliko je moguće, ukoliko nije, odspojiti ih s frekvencijskog pretvarača te provjeriti njegov izlazni signal.
- Digitalni ulazi: kratko spojiti kontakte te pratiti LED indikacije na relejnom modulu i indikacije na razini PLC programa, odnosno na HMI-u.
- Digitalni izlazi: dovesti vrlo kratki impuls na elektromotore ručno ili izdavanjem naredbe na HMI-u te utvrditi da je smjer vrtnje elektromotora očekivan, odnosno da je polaritet elektromotora pravilno spojen. Također sve ventile otvoriti i zatvoriti putem HMI-a. Prisilno aktivirati sve alarmne sirene, svjetlosne signale itd.

4.4. Obuka osoblja

Obuka je često zanemarena jer gospodarski subjekti svojim klijentima često govore kako je razvijeni sustav jako intuitivan za korištenje te da korisnicima sustava i sličnom osoblju ne treba obuka. Jako je bitno provest korisnike sustava kroz obuku, kako bi razumjeli kako koristiti sustav i upoznali se s njim. [6]

Sigurnosna obuka se treba planirati tijekom planiranja cijelog projekta, a faza obuke bi trebala završiti prije nego što se sustav prvi puta pusti u pogon. [3]

4.5. Puštanje sustava u pogon

Nakon što su sva navedena ispitivanja zadovoljena, sustav je spreman za prvo pokretanje. Postupak puštanja sustava u rad mora biti unaprijed dogovoren od strane kupca i gospodarskog subjekta. Ključno je da tijekom puštanja sustava u rad svi članovi tima projekatana i tima za izgradnju budu prisutni, kako bi mogli brzo reagirati u koliko nešto pođe po krivu.

5. TREĆA FAZA: SUSTAV U POGONU

Dok je sustav u pogonu, ključno ga je održavati. Dva najključnija održavanja koja bi se trebala provoditi su preventivno i korektivno održavanje. Kada rezervni dijelovi sustava postanu teže dostupni zbog njihove zastarjelosti, sustav je potrebno nadograditi novim dijelovima sustava.

5.1. Održavanje

Kada se sustav jednom implementira, on bi uvijek trebao obavljati iste zadatke. Često korisnici sustava koriste sustave za nešto što prvobitno nisu namijenjeni. Upravo iz tog razloga je ključno izvršavati prilagodbe, nakon što je sustav implementiran. [6]

Preventivno održavanje je vrsta održavanja koje se provodi u unaprijed određenim intervalima s ciljem smanjivanja vjerojatnosti kvara. Iako je najčešće uporabljiva u industriji, ovakva vrsta održavanja je podosta skupa jer često dovodi do pretjeranog održavanja sustava. [7, 8]

Ipak, postoje načini kako smanjiti takvo pretjerano održavanje sustava i troškove. Prilikom izvođenja rutinskih testova, preporučuje se testirati onu opremu koja je najvrjednija i najbitnija, fokusirajući se na dijelove opreme koja je najsklonija kvarovima. Dobra je praksa limitirati pojavu obavijesti upozorenja, odnosno, onemogućiti pojavu obavijesti svaki put kada se detektira neka manja anomalija u sustavu. [9]

Korektivno održavanje odnosi se na dio opreme koja je već zakazala ili ne funkcionira ispravno. Primjenjuje se na onaj dio opreme čiji kvar može prouzročiti potpuno zaustavljanje proizvodnog procesa. Korektivno održavanje podrazumijeva pronalazak uzroka kvara te otklanjanje kvara popravkom ili potpunom zamjenom dijela opreme. Također, preventivnim održavanjem se može ukazati na ozbiljniji kvar nekog dijela sustava te se korektivnim održavanjem taj kvar otklanja. [10]

5.2. Nadogradnja i migracija

Sustavi nadzora i upravljanja koji se implementiraju na procese trebali bi raditi desetljećima. U međuvremenu, hardverska i softverska tehnologija toliko napreduje, da stariji sustavi više ne mogu pratiti suvremene zahtjeve u pogledu brzine, pouzdanosti i sigurnosti ili jednostavno računalna platforma više nema podršku. Također, kada se komponente zastarjelog sustava pokvare, one su teže dostupne, jer više nisu u proizvodnji.

Pojavljuje se potreba za njegovom nadogradnjom s novim komponentama ili se on može migrirati na novu softversku ili hardversku platformu. Prvo se trebaju provjeriti kompatibilnosti novih komponenti s postojećim sustavom te ih testirati prije nego što se uvedu u pogon.

5.2.1. Four-point evolution strategija

ABB-ova evolucijska strategija omogućuje nadogradnju novog sustava na starom (postojećem) sustavu. Strategija se sastoji od 4 cjeline: proces planiranja proizvoda, proces planiranja evolucije kupca, programi evolucije kupca i isporuka rješenja.

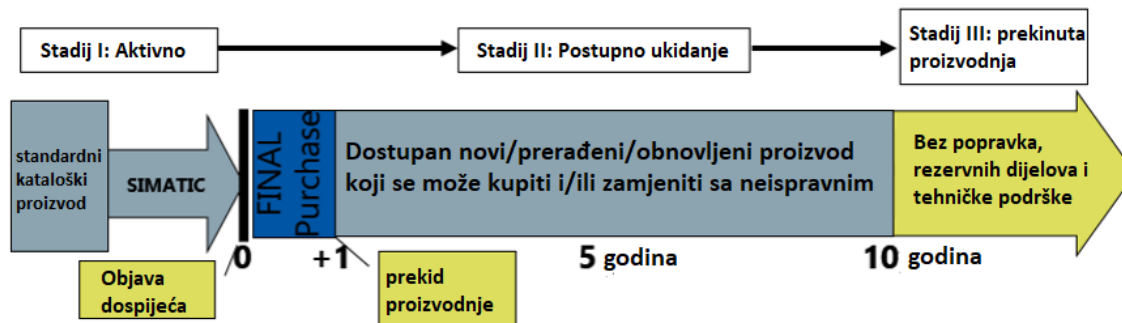
Proces planiranja proizvoda omogućuje integraciju novih značajki i mogućnosti u postojeći sustav s minimalnim utjecajima na postojeće aplikacije. Prema strategiji, proces razvoja bi trebao uključivati stroge smjernice kako bi se osigurala kompatibilnost između različitih modela komponenti.

Proces planiranja evolucije kupca omogućuje individualizirano planiranje s kupcem, minimalnim negativnim utjecajem na proizvodnju tijekom nadogradnje. U ovom procesu se podnosi plan od 3 do 5 godina koji se periodično pregledava te mijenja po potrebi (radi održavanja promjenjive poslovne potrebe i nova rješenja sustava). Preporučuje se analiza proizvodnog sustava kao bi se ciljalo na postrojenja koja su u najvećem riziku od gubitka proizvodnje, kao i ona koja imaju najveći potencijal za povećanje proizvodnje.

Programi evolucije kupca su pristupi nadogradnji hardvera i softvera radi izbjegavanja zastarjelosti. Ovakvi pristupi pružaju financijsku fleksibilnost kod prelaska s postojećih sustava na nove.

Prilikom isporuke rješenja pregledavaju se zahtjevi koji su formulirani u dugoročnom planu. Temeljem pregledavanja dizajniraju se idejna rješenja koja štite ulaganja u sustav i predstavlja najmanji mogući rizik tijekom instalacije. [11]

6. ČETVRTA FAZA: STAVLJANJE SUSTAVA VAN POGONA



Slika 5.1.: prikaz trajanja životnog ciklusa sustava kroz protekle godine [12]

Slikom 5.1. ilustrirana je održivost sustava kroz godine. Ilustracija se sastoji od 3 faze. U prvoj fazi se dijelovi sustava aktivno prodaju i dostupni su kao standardni proizvodi. U periodu druge faze (5 godina), dostupnost dijelova sustava se postupno ukida te sustav postupno stari. Dijelovi sustava mogu biti dostupni kao novi dijelovi (dok je zaliha još dostupna), mogu se izraditi po narudžbi ili se jednostavno samo popraviti. U trećoj fazi (nakon 10 godina) sustav je zastario do te mjere da mu rezervni dijelovi više nisu dostupni niti se na ikakav način mogu zamijeniti ili popraviti. Tada sustav više nije korektivno održiv te je dotrajavao. [12]

6.1. Zamjena i dekomisija

Na kraju životnog vijeka sustava, sustav se može zamijeniti novim ili se može dekomisionirati (odbaciti ga, reciklirati). Dekomisiju valja dobro isplanirati, kako bi se na siguran način uklonila sva oprema. Prije uklanjanja opreme, bitno je osigurati sigurno područje za dekomisiju: isključiti vodu i struju te ispustiti stlačeni zrak. Nakon što su sigurnosni uvjeti osigurani, sekciju po sekciju se uklanjaju dijelovi s sustava, dijeleći dijelove opreme na vrijedne dijelove (koji se mogu ponovo uporabiti ili prodati) i dijelove za otpad. [13]

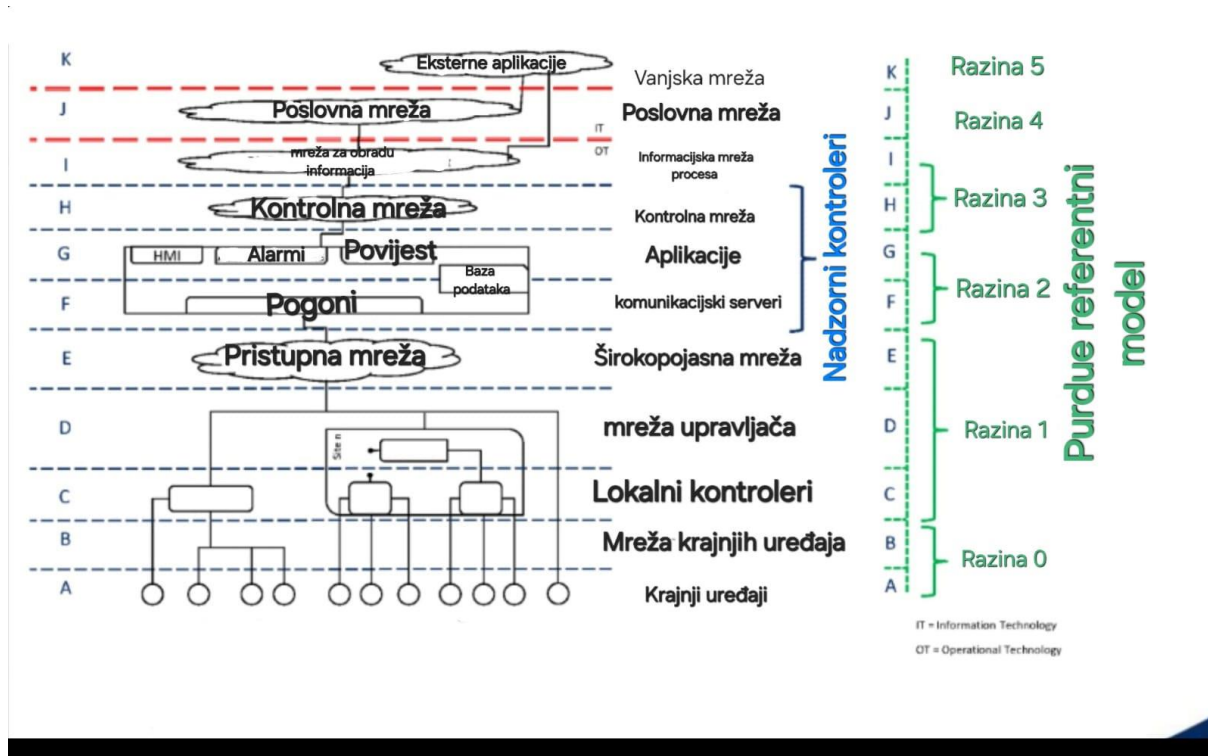
7. ISA112 STANDARD

ISA112 je novi standard u izradi koji bi trebao pružiti smjernice za projektiranje, implementaciju, rad i održavanje SCADA sustava na uzoru najboljih dokumentiranih praksi u nizu industrija. Odbor za donošenje ISA112 standarda je osnovan 2016. godine. [14]

Članovi odbora su softverski proizvođači, proizvođači hardvera, krajnji korisnici, integratori sustava, konzultanti i vlade iz različitih industrija. Odbor trenutno broji preko 250 članova odbora iz cijelog svijeta. Članovi odbora su stručnjaci u industrijskim sektorima uključujući: naftu i plin, celulozu i papir, rudarstvo, kemijsku industriju, ekološko praćenje, cjevovodnja i vodna industrija. [15, 14]

Do sada, odbor za donošenje ISA112 standarda je postavio definiciju SCADA sustava te je definirao arhitekturu SCADA sustav, na način da je sustav opisao u slojevima (slika 6.1.).

SCADA kao pojam se u različitim industrijama različito i koristi. Neke industrije SCADA sustavom smatraju samo gornjim slojem softvera, dokle ga drugi smatraju kao povezanost s kraja na kraj, odnosno povezanost od krajnjih uređaja do HMI-a. Odbor je usvojio definiciju SCADA sustava: „*Nadzor ili prikupljanje podataka, ili SCADA, je sustav koji je kombinacijama hardvera i softvera koji se koristi za slanje naredbi i prikupljanje podataka u svrhu nadzora i upravljanja.*“ Ova definicija je postavljena s ciljem da se pojam SCADA sustava može primijeniti u bilo kakvoj industriji, gdje svaka industrija ima svoje jedinstvene potrebe za tom definicijom. [16]



Slika 6.1. Usvojeni arhitektonski model SCADA sustava [16]

Slika 6.1. prikazuje usvojeni arhitektonski model SCADA sustava koji je podijeljen po slojevima. Iako na prvi pogled izgledom podsjeća na Purdue referentnom modelu, arhitektonski model SCADA sustava je temeljitiji, te se na slici može uočiti ilustrirana razlika između dva modela.

Također, razvijen je detaljan blokovski dijagram životnog vijeka SCADA sustava koji detaljno prikazuje faze projektiranja, razvijanja, implementacije i unapređivanje sustava. Ovakve strategije primjene životnog ciklusa se može jednostavno primijeniti na SCADA instalacije bilo koje veličine.

Odbor za donošenje ISA112 standarda na dovršetku prvog dijela standarda: životni vijek SCADA sustava, grafovi i terminologija. Nakon objave prvog dijela, u planu je paralelno raditi na ostala dva dijela standarda; drugi dio: radni procesi životnog vijeka SCADA sustava i treći dio: Arhitektura SCADA sustava. [16]

Iako prvi dio standarda još nije završen, već počinje imati utjecaj na implementaciju SCADA sustava u vodovodnim poduzećima. Vodovodna poduzeća u Ontariju se već ugledavaju na ISA112 okvir za upravljanje automatizacijom. [17]

ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu, teorijski su analizirane stručne inženjerske prakse, dani su kvalitetni savjeti oko projektiranja industrijskog sustava upravljanja, kako bi se što lakše izgradio kvalitetan i kibernetički siguran sustav s dugoročnim životnim vijekom.

Kada se pojavi potreba za novim industrijskim sustavom upravljanja, treba uzeti u obzir povratak investicije, sigurnost i zakonske obaveze te hoće li biti moguće pokrivati troškove održavanja, moguće imigracije i sl. Prilikom projektiranja, posebno treba obratiti pažnju na sigurnost, najbolje je slijediti ISA/IEC 62443 standarde koji definiraju sigurnosne mjere koje je korisno implementirati kroz sve faze životnog vijeka.

Iako je u nekim literaturama predloženo da se FAT ispitivanje provede kod klijenta, puno bolja je praksa provesti FAT kod proizvođača sustava, jer ukoliko sustav padne na FAT ispitivanju, projektanti mogu lakše otkloniti problem u svom okruženju. Protokol FAT ispitivanja mora biti pomno osmišljen, detaljan i dogovoren s klijentom. Ispravno proveden FAT jamči ispravnost sustava te olakšava SAT ispitivanje. SAT ispitivanje se obavlja kada se sustav dostavi kod klijenta. Ukoliko je FAT ispitivanje bilo kvalitetno, SAT se može limitirati samo na krajnje uređaje.

Preventivno održavanje može biti jedna od najskupljih vrsta održavanja. Stoga je ključno provoditi ga na onim najbitnijim i najvrjednijim dijelovima sustava, odnosno, onim dijelovima sustava čiji kvar može prouzročiti zastoj proizvodnog procesa. Korektivnim održavanjem se otklanjaju kvarovi popravkom ili potpunom zamjenom dijela sustava, a kvarovi najčešće mogu biti identificirani preventivnim održavanjem.

Dokumentacija je također jedna od najključnijih dijelova cjelokupnog životnog vijeka sustava. Ona je set dokumenata koji prolazi svaku fazu životnog vijeka. U dokumentaciji se dokumentira planiranje projekta, idejna rješenja projektiranja, napomene pri izgradnji. Dokumentacijom se educiraju voditelji proizvodnih procesa i osoblje za održavanje. U dokumentaciji se također mogu planirati moguće nadogradnje, protokoli ispitivanja itd. Iz tih razloga, vrlo je bitno voditi detaljnu dokumentaciju od početka, do kraja životnog ciklusa.

ISA112 standard predstavlja okvir za definiranje, projektiranje, implementaciju i održavanje SCADA sustava te se sastavlja po uzoru na najbolje prakse iz različitih industrija. Iako još nije dovršen, već sada ima utjecaj na implementaciju SCADA sustava u industriji, ponajviše u vodovodnim poduzećima.

LITERATURA

- [1] M.D. Whitt, Successful Instrumentation and Control Systems Design, The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Durham, Sjeverna Karolina, SAD, 2006.
- [2] C. Parra, A. Crespo Marquez, V. Gonzalez-Prida, F. Kristjanpoller, P. Viveros, G. Llorca, A. Aguilar, Maintenance and Reliability Management Model Proposed for the Project: Third Set of Locks in the Panama Canal, 2015
- [3] PA Consulting Group, Manage industrial control systems lifecycle, London, UK, 2015
- [4] N.E. Battikha, Managing industrial controls, The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Durham, Sjeverna Karolina, SAD, 2014.
- [5] The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Security of Industrial Automation and Control Systems: Quick Start Guide: An Overview of ISA/IEC 62443 Standards, Durham, Sjeverna Karolina, SAD, dostupno na: <https://gca.isa.org/hubfs/ISAGCA%20Quick%20Start%20Guide%20FINAL.pdf> [12.09.2024]
- [6] Corso Systems, Automation Project Life cycle, Chicago, Illinois, SAD, dostupno na: <https://corsosystems.com/posts/automation-project-lifecycle> [12.09.2024]
- [7] Endress + Hauser, inc, The Maintenance Guide, Greenwood, Indiana, SAD, dostupno na: <https://portal.endress.com/dla/5000210/4760/000/00/MaintGuideUSA.pdf> [12.09.2024]
- [8] The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Security of Industrial Automation and Control Systems: How to Implement Predictive Maintenance, Durham, Sjeverna Karolina, SAD, dostupno na: <https://blog.isa.org/how-to-implement-predictive-maintenance> [12.09.2024]
- [9] The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Security of Industrial Automation and Control Systems: What's Your Game Plan for Low-Cost Preventive Maintenance?, Durham, Sjeverna Karolina, SAD, dostupno na: <https://blog.isa.org/whats-your-game-plan-for-low-cost-preventive-maintenance> [12.09.2024]
- [10] Technomax Middle East Engg. LCC., Corrective Maintenance: A Complete Guide for Optimising Equipment Performance, Abu Dhabi, Ujedinjeni Arapski Emirati, dostupno na: <https://www.technomaxme.com/corrective-maintenance/> [12.09.2024.]
- [11] ABB, Lowering Control System Life Cycle Costs and Risks through System Evolution, Švicarska, dostupno na: [White Paper Evolution EN ES.pdf \(abb.com\)](https://www.abb.com/whitepaper/evolution-en-es.pdf) [12.09.2024]
- [12] Gissmatic automatisierung, PTE, LTD, Siemens product life cycle management, Midview City, Singapur, dostupno na: <https://www.gissmatic.com/siemens-product-life-cycle> [18.09.2024]
- [13] NTRC Automation, A Breakdown of the Decommissioning Process, Alabama, SAD, dostupno na: <https://www.nrtcautomation.com/blog/a-breakdown-of-the-decommissioning-process> [19.09.2024]

- [14] The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Security of Industrial Automation and Control Systems: ISA112, SCADA Systems, Durham, Sjeverna Karolina, SAD, dostupno na: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa112> [12.09.2024]
- [15] G. Nasby, Naslov: An Overview of the ISA112 SCADA Systems Management Lifecycle, International Society of Automation, dostupno na: https://www.grahamnasby.com/files_publications/NasbyG_2023_Intro-ISA112-SCADA-Mgmt-Standard_ISA-Hamilton_mar29-2023_slides.pdf [12.09.2024]
- [16] The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Security of Industrial Automation and Control Systems: ISA112: Supporting SCADA System Reliability, Durham, Sjeverna Karolina, SAD, dostupno na: <https://www.isa.org/intech-home/2023/2023-february-2023/features/isa112-supporting-scada-system-reliability> [12.09]
- [17] The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Security of Industrial Automation and Control Systems: ISA112: ISA-108 and ISA-112: In development for intelligent device management, SCADA systems, Durham, Sjeverna Karolina, SAD, dostupno na: <https://www.isa.org/intech/2020/september-october/isa-108-and-isa-112-in-development-for-intelligent> [12.09]

SAŽETAK

Životni vijek industrijskog sustava upravljanja sastoji se od četiri ključne faze: projektiranje, izgradnja, sustav u pogonu i stavljanje sustava izvan pogona. Svaka od napomenutih faza sadrži aktivnosti i zahvate.

U ovom radu, teorijskom analizom stručnih praksi, sačinjen je pregled svih faza skupa s njihovim aktivnostima i zahvatima. Dani su ilustrirani primjeri i savjeti iz struke kako da životni vijek industrijskog sustava upravljanja bude što duži.

Ključne riječi: Industrijski sustav upravljanja, životni vijek, ispitivanje, održavanje, projektiranje.

ABSTRACT

The lifecycle of an industrial control system consists of four key phases: design, construction, operation, and decommissioning. Each of these phases involves specific activities and tasks.

This paper provides a theoretical analysis of professional practices, offering an overview of all phases along with their associated activities and tasks. Illustrated examples and expert advices are presented to illustrate how to extend the lifecycle of industrial control systems as much as possible.

Keywords: Industrial control system, lifecycle, testing, maintenance, design.

ŽIVOTOPIS

Patrik Bardak je rođen u Osijeku 04.08.1999. godine. Nakon završetka Osnovne škole Vladimira Nazora u Čepinu, upisuje Elektrotehničku i prometnu školu u Osijeku, smjer tehničar za elektroniku s izbornim modulom elektronike u elektroenergetici. 2019. godine upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, preddiplomski stručni studij elektrotehnike, smjer automatika.

Potpis autora